

Über die Verwendung
der künstlichen Beatmung
in der Aerosoltherapie

von

ALOIS KOTTER



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut und Poliklinik für Physikalische
Therapie und Röntgenologie der Universität München

Direktor: Professor Dr.H.v.B r a u n b e h r e n s

Über die Verwendung der künstlichen
Beatmung in der Aerosoltherapie.



Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Alois K o t t e r
aus
Donauwörth

München 1958

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Priv. Doz. Dr. F. E. Stieve
Korreferent: Prof. Dr. H. v. Braunbehrens
Dekan: Prof. Dr. W. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 10. Juni 1958

10. JUNI 1958

Inhaltsübersicht

	<u>Seite</u>
Allgemeines	2
Problemstellung	3
Teil I: Auswahl und Untersuchung der geeigneten Methoden zur Substitution der Atmung	4
A. Zusammenstellung der verschiedenen Methoden künstlicher Beatmung.....	4
B. Auswahl und Beschreibung der Methoden zur Substitution bzw. Förderung der Atmung	10
C. Untersuchung der Beatmungsgeräte mit kontinuierlicher Atemschreibung am Spirographen nach Knipping	14
Methodik	15
Ergebnisse	16
Diskussion der Ergebnisse	22
Teil II: Untersuchungen über die Beeinflussung der Resorptionsgröße bei Substitution der Atmung während der Inhalation	28
Allgemeines und Abgrenzung	28
Methodik	28
Ergebnisse	33
Diskussion der Ergebnisse	41
Zusammenfassung	48
Literatur	50

Allgemeines:

Die Aerosoltherapie hat sich längst einen gesicherten Platz in der Reihe der medizinischen Behandlungsarten errungen. In zahlreichen Veröffentlichungen sind die wissenschaftlichen Grundlagen der Aerosoltherapie dargestellt. Neubig (26) hat durch seine Arbeit einen brauchbaren Weg zur Bestimmung der Niederschlagsgröße des Inhalats in der Lunge aufgezeigt. Arbeiten von Stieve - Dirnagl (33), Welker (35) und Findeisen (12) stellten die Beziehungen zwischen der Tröpfchengröße des Nebels und dem Eindringungsvermögen des Inhalats in die Lungen klar.

Naturgemäß findet sich in vielen Veröffentlichungen ein Hinweis auf die starke Abhängigkeit des Eindringungsvermögens des Nebels — somit auch der Niederschlags- und Resorptionsgröße — von der Atmung: Hückel und Kipper (16) stellten als Erste fest, daß ein Widerstand beim Ausatmen die Aufnahme der inhalierten Substanz zu erhöhen vermag. Dies veranlaßte sie, einen Einfluß des Atemtyps auf die Resorptionsgröße anzunehmen.

Bernert, Seyss und Witt (3) kamen bei ihren Versuchen mit Radiojodinalationen zu der Feststellung, daß man bei der Bewertung der Meßergebnisse Atemtechnik, Vitalkapazität und Alter der Versuchsperson (V.P.) berücksichtigen müsse, gingen jedoch nicht näher auf die Zusammenhänge ein. Bemerkenswert ist das Ergebnis, daß die Resorption bei Emphysematikern und Asthmatikern geringer ist als bei Atemgesunden.

Bryson, Sansome und Laskin (8) gehen einen Schritt weiter und geben zu ihren Versuchen genaue Anweisung für die Atemtechnik des Patienten: 15 sec. Einatmung, 15 sec. lang Atem anhalten, Ausatmen mit 30 sec. Pause. Sie kommen dabei zu dem Ergebnis, daß bei exakter Einhaltung dieser Atemtechnik 60 % des vernebelten Penicillins in 12 Stunden im Urin wiedergefunden wird.

Lammer und Heidefeld (25) führen die großen Schwankungen in ihren Ergebnissen bei Penicillininalationen

auf die individuell verschiedene Atemtiefe zurück.

In all diesen Arbeiten, die sich mit der Frage beschäftigen, wieviel von der inhalierten Substanz ins Blut übergeht und in welchen Teilen der Lunge der Niederschlag des Aerosols erfolgt, kommt der Zusammenhang zwischen der Atemtechnik und der Resorptionsgröße mehr als empirische Erfahrung zum Ausdruck. Erst Pichelmaier (27) unterzog diese Zusammenhänge einer genaueren Untersuchung. Er kommt dabei zu dem Ergebnis, daß die Resorptionsgröße der Atemfrequenz umgekehrt proportional ist und dementsprechend bei tiefer Atmung mehr resorbiert wird als bei flacher. Eine Pause nach der Inspiration steigert die Resorption nur wenig, wohingegen durch Pressen nach der Einatmung überhaupt keine Steigerung der Aufnahme von Aerosol erzielt wird. Pichelmaier zeigt also, daß eine möglichst tiefe Atmung mit eventuellen Pausen nach der Einatmung eine optimale Resorption bei der Aerosoltherapie bringt.

Erfahrungsgemäß ist es aber gar nicht einfach schon bei Gesunden diese für die Inhalationstherapie so wichtige Atemform zu erreichen. Kranke, insbesondere die für die Aerosoltherapie prädestinierten Lungenkranken werden immer Schwierigkeiten haben diese Atemform einzuhalten. Teils können die Patienten nach der Art ihrer Erkrankung (Emphysem, Asthma usw.) ihre Atmung nicht willkürlich in einer bestimmten Form tätigen, teils kommt es durch reflektorische Schonhaltung zur Ruhigstellung gerade derjenigen Lungenpartien, die der Eindringung des Aerosols am meisten bedürfen.

So liegt der Versuch nahe, durch irgendeine Form der Substitution der Atmung die Größe der Resorption des Aerosols zu erhöhen.

Problemstellung:

Die Arbeit soll klären, in wieweit es sinnvoll ist, eine Kombination zwischen irgend einer Form der künst-

lichen Beatmung und der Inhalationstherapie zu schaffen. Nach den oben angeführten Arbeiten wäre zu erwarten, daß mit einer Intensivierung der Atmung durch Anwendung einer Form der künstlichen Beatmung während der Inhalation eine Verbesserung der Resorption des Aerosols erzielt werden kann. Eine Steigerung der Resorption kann dabei auf zwei Faktoren beruhen: Einmal Vergrößerung der Niederschlagsmenge durch den größeren Ventilationseffekt, dann bessere Resorptionsbedingungen durch vermehrte Durchblutung des Lungengewebes. Da jede vermehrte Organleistung mit einer gesteigerten Organdurchblutung einhergeht, soll nicht der Anteil der einzelnen Komponenten, sondern die gesamte Resorptionssteigerung durch die Atemsubstitution gemessen werden.

Im ersten Teil der Arbeit werden geeignete Methoden zur Substitution bzw. Förderung der Atmung während der Inhalation aus der Vielzahl der möglichen Beatmungsarten ausgewählt. Ihre Wirkung auf die Ventilationsgrößen wird durch kontinuierliche Atemschreibung am Knipping-Spirographen untersucht.

Im zweiten Teil der Arbeit wird der Einfluß der Atemsubstitution auf die Resorption von Aerosolen durch PAH-Inhalationen untersucht.

Teil I : Auswahl und Untersuchung der geeigneten Methoden zur Substitution der Atmung.

A. Zusammenstellung der verschiedenen Methoden künstlicher Beatmung:

1. Manuelle Beatmungsmethoden: Die ältesten Methoden der künstlichen Beatmung sind die manuellen. Das Prinzip dieser Methoden besteht darin, durch Kompression des Thorax die Luft aus den Lungen zu pressen, wobei durch Zurückweichen der elastischen Kräfte des Thorax in ihre Ausgangslage dann eine Einatmung erreicht wird.

In der einfachsten Form ist dies die Methode nach König. Bei dem auf dem Rücken liegenden Patienten wird eine Expiration durch Zusammendrücken mit den beiderseits oberhalb des Rippenbogens flach aufgesetzten Händen erreicht. Während bei dieser Methode die Einatmung allein durch die elastischen Kräfte des Thorax zuwege kommt, wird nach Thompson die Einatmung dadurch unterstützt, daß man die Arme gestreckt weit nach kranial appliziert und dem Patienten eine Rolle unter die Schulterblätter legt. Durch das Schwerkraft der Arme kommt es über den kranial gerichteten Zug des M. pectoralis an den Rippen zu einer zusätzlichen Erweiterung des Thorax. Howard konnte den unzureichenden Atemeffekt der Thompson'schen Methode dadurch verbessern, daß er aktiv an den überstreckten Armen zog. Bolt - Valentin (4) halten diese Methode für geeignet um bei poliomyelitischer Atemlähmung die Atmung für kurze Zeit aufrecht zu erhalten. Wegen der Gefahr einer Schulterluxation wurde die Methode nach Howard von Kilian - Dönhardt (18) für die Anwendung in der Ersten Hilfe abgelehnt.

Den größten Beatmungseffekt erzielt nach Untersuchungen von Gordon und Mitarbeitern (13) an curarisierten V.P. die Methode nach Sylvester. Hier kniet der Beatmer am Kopf des zu Beatmenden und faßt dessen Unterarme knapp oberhalb des Handgelenks. Zur Einatmung werden die Arme weit nach kranial geführt und neben dem Beatmer ausgestreckt. Nach Beendigung der Einatmung werden die Arme wieder zurückgeführt und angewinkelt an den Thorax gelegt. Ein Druck des vornübergebeugten Beatmers auf die Arme und damit auf den Thorax bewirkt die Ausatmung. Bei der Methode nach Holger-Nielsen wird zur Einatmung der Oberkörper des in Bauchlage liegenden Patienten vom Beatmer an den beiden Oberarmen leicht angehoben. Dadurch wird die Expansionsbewegung des Thorax erleichtert. Eine weitere Unterstützung erfährt die Einatmung durch die Streckung des

M. pectoralis und eine leichte Überstreckung der Brustwirbelsäule, wodurch eine zusätzliche Erweiterung der Intercostalräume erreicht wird. Die Ausatmung erfolgt durch Druck mit den unterhalb der Schulterblätter flach aufgesetzten Händen. Bei der ebenfalls in Bauchlage ausgeführten Beatmung nach Emmerson erfolgt die Einatmung durch Anheben der Hüften, die Ausatmung durch Druck mit den am unteren Thoraxrand angesetzten Händen. Das Prinzip der Einatmung beruht auf dem Nachgeben der Bauchdecken in der Hängelage unter dem Druck der Eingeweide, wodurch das Zwerchfell kaudalwärts gezogen wird.

Das Atemvolumen bei den meisten Methoden manueller Beatmung beträgt nach Gordon und Mitarbeitern (13) circa 1000 ccm. Für eine ausreichende Beatmung werden 12 - 20 Atembewegungen pro Minute gefordert.

Bei allen manuellen Beatmungsarten ist die Dauer der Anwendbarkeit in Folge des großen Kraftaufwandes sehr begrenzt. Man war daher immer bestrebt, die künstliche Beatmung zu mechanisieren.

2. Mechanische, nicht automatische Beatmungsmethoden: Hier sind der Inhabadapparat nach Dr. Fries und das Beatmungsgerät nach Panis zu nennen. Beide Geräte versuchen durch Kompression des Thorax mittels Gurten und Bewegung der Arme mittels mechanischer Hebelarme eine der manuellen Beatmungsmethoden kräftesparend nachzuahmen. Diese Geräte sind nur noch wenig in Gebrauch. Etwas mehr findet noch die Kippatmung nach Eve mittels der Dänischen Wippe in der Ersten Hilfe Anwendung. Bolt und Mitarbeiter (7) halten jedoch ihre Anwendung wegen der Möglichkeit einer Leberruptur durch Anschoppung nicht für empfehlenswert. In der Arbeit über die Untersuchungen der Hilfsmittel zur künstlichen Beatmung bei Normal- und Narkoseatmung kamen Bolt - Valentin - Venrath (7) zu der Feststellung, daß bei der Normalatmung die Wirksamkeit von den Haftschaalen über die Dänische

Wippe und das Inhabadgerät zum Neptungerät ansteigt. Dagegen wird die dreifache mittlere Fehlerbreite der Spontanatmung bei der Beatmung in Narkose nur durch die Werte der Atemvolumina bei Anwendung des Inhabad- und des Neptungeräts überstiegen.

In der Ersten Hilfe brauchbare Geräte zur Wiederbelebung sind nach Kilian - Dönhardt (18) der Reanimator (Draegerwerke) und der Revivator. Sie arbeiten nach dem alten Prinzip der Beatmung durch Einblasen von Luft unter Druck. Es handelt sich dabei einfach um einen Blasebalg mit einer Atemmaske, wobei ein Sicherheitsventil den anwendbaren Druck auf 30 cm WS beschränkt um ein Zerreißen der Alveolen (Gefahr bei 50 cm WS) zu vermeiden. Die Ausatmung geschieht rein passiv durch die elastischen Kräfte und die Schwere des Thorax.

3. Bei den mechanischen, automatischen Beatmungsmethoden stehen die Pulmomat- und die Pulmotorbeatmung im Vordergrund. Diese Geräte sind in erster Linie für die Narkosebeatmung und die Erste Hilfe gedacht. Da sie nur bei Reflexlosigkeit exakt arbeiten und meist eine Intubation voraussetzen, kommen sie für eine Atemtherapie nicht in Frage, und es darf im Rahmen dieser Arbeit auf die ausführliche Beschreibung in Kilian - Weese (19) verwiesen werden.

Speziell für die Beatmung bei Atemlähmung durch Poliomyelitis und Poliradikulitis wurden die Tankrespiratoren wie die Eiserne Lunge nach Drinker - Collins, der FMS - Respirator, der Draeger - Respirator u. a. entwickelt. Ihre souveräne Stellung in der Poliomyelitisbehandlung verdanken sie der Gewährleistung eines absolut ausreichenden Ventilationseffektes auf theoretisch unbegrenzte Zeit (Dönhardt (11)).

Die Beatmungseffekte bei völliger Atemlähmung durch Beatmung mit einem Brust - Bauchpanzergerät (Piomotor, Draeger - Rumpfprespirator) sind demgegenüber gering und unzuverlässiger. Eine Dauerbeatmung mit dem Pio-

motor bei völliger Atemlähmung ist nicht möglich. Dagegen stellt der Biomotor eine gute Substitution bei noch vorhandener Spontanatmung dar (Bolt - Valentin - Venrath (6), Hellich (14)). Koeppen (22) weist auf die physiologische Arbeitsweise des Biomotors hin, gibt jedoch keine Meßzahlen an.

4. Schließlich stehen zur künstlichen Beatmung noch die Methoden der elektrischen Reizung der Atemmuskulatur zur Verfügung. Hier erweckt die bereits von Ziemssen angegebene, von Sarnoff und Mitarbeitern 1948 neu aufgegriffene Methode der elektrischen Reizung des Zwerchfells über den Nervus phrenicus besonderes Interesse. Nach Sarnoff und Chatfield (28) werden hierdurch besonders günstige Ventilationseffekte und vor allem eine günstige kreislaufdynamische Wirkung erzielt (Sarnoff und Mitarbeiter (31, 36)). Von besonderer Bedeutung ist, daß bei der elektrophrenischen Beatmung durch Verlangsamung der Einatmungsphase während eines Zyklus die Spontanatmung wirksam gehemmt wird (Sarnoff (30)). Auch Zettler (37) berichtet über Ventilationsgrößen bei dieser Beatmung, die über dem Physiologischen liegen. Es wird darauf hingewiesen, daß bei einseitiger Reizung des Nervus phrenicus eine Kontraktion des gesamten Zwerchfells zustande kommt (Zettler (37), Sarnoff - Gaensler - Maloney (29)). Allerdings weist bereits Sarnoff darauf hin, daß das Aufsuchen des kutanen Reizpunktes des Nervus phrenicus einiger Übung bedarf. Kilian - Dönhardt (18) halten eine klinische Anwendung dieser Methode wegen der Schwierigkeit Auffindbarkeit des kutanen Phrenicusreizpunktes für unzweckmäßig. Dijourno (10) bezeichnet als vorwichtiges Indikationsgebiet für die elektrophrenische Beatmung elektrische Unfälle, Narkosezwischenfälle und Neugeborenenasphyxie.

In Deutschland steht für die elektrophrenische Beatmung das Reizstromgerät von Siemens, das Phrenoton, zur Verfügung. Es ermöglicht außer der Variationsmög-

lichkeit für die Atemfrequenz und die Reizstärke (Atemtiefe) eine Veränderung des Verhältnisses von Reizdauer zu Reizpause.

Eine andere Möglichkeit der elektrischen Beatmung ist die durch Kowarschik (23) angeregte direkte Reizung der Atemmuskulatur.

In der von Hofmann entwickelten Elektrolunge besitzen wir heute ein ausgereiftes Gerät zur Zweiphasenbeatmung durch direkte Reizung des Zwerchfells (Einatmung) und Reizung der Bauchmuskulatur (Ausatmung). Es können Atemfrequenz, Atemtiefe und Verhältnis der Einatmung zur Ausatmung ausreichend reguliert werden. Das Hauptindikationsgebiet für die Beatmung mit der Elektrolunge liegt auf dem Gebiet der Substitution noch vorhandener Spontanatmung, während bei kompletter Atemlähmung die Eiserne Lunge und ähnliche Apparate überlegen sind (Buhlmann (9)). So berichtet Arno (2) über eine wesentliche Erhöhung des Atemvolumens (20 - 25 %) und eine Steigerung der Vitalkapazität um 20 - 25 % bei postoperativer Inspirationsbehandlung mit der Elektrolunge. Klotz und Sauerwein (21) konnten bei Athmatikern eine Steigerung der Vitalkapazität um 100 % durch elektrische Beatmung mit der Elektrolunge beobachten. Abendroth (1) berichtet über günstige Ergebnisse in der Behandlung des Lungenemphysems und des Asthma bronchiale. Vor allem konnte er eine Besserung der Zwerchfellverschieblichkeit bei Emphysematikern mit Zwerchfellfixierung feststellen. Bei der Behandlung der poliomyelitischen Atemlähmung stellt die Elektrolunge eine wertvolle Ergänzung zur Eisernen Lunge dar. Nach spiographischen Untersuchungen von Bolt - Valentin - Venrath (5) gewährleistet die Elektrolunge bei einer völligen Atemlähmung auf die Dauer keine ausreichenden Ventilationseffekte. Krenz - Petermann (24) stellten in einem Vergleich zwischen der Atemgymnastik und Beatmung mit der Elektrolunge für beide Methoden eine Steigerung der Atemvolumina um 30 % fest. Sie fordern für beide Methoden eine Übungstherapie.

B. Auswahl und Beschreibung der Methoden zur Substitution bzw. Förderung der Atmung:

Bei der Auswahl der Beatmungsmethoden waren folgende Gesichtspunkte ausschlaggebend: Die Beatmungsmethode muß gleichzeitig mit einer Inhalation anwendbar sein. Sie muß weiterhin die Möglichkeit bieten bei einer evtl. therapeutischen Verwendung sowohl Atemfrequenz als auch das Verhältnis von Ausatmung zu Einatmung weitgehend dem Atemtyp des Patienten anzupassen. Der Übergang von einer Atembewegung in die andere muß physiologisch gestaltet sein.

Zur Durchführung der Beatmung wurden vier Methoden ausgewählt: eine automatisch-mechanische Beatmung durch ein Bauchpanzergerät (Biomotor), eine elektrische Beatmungsart durch direkte Reizung des Zwerchfells und der Brust- und Bauchmuskulatur (Elektrolunge nach Hofmann), eine Beatmungsmethode von Hand und eine Beatmung durch elektrische Reizung des N. phrenicus (Phrenoton).

Der **B i o m o t o r** besteht aus einer über dem gesamten Abdomen liegenden doppelwandigen Pelotte, die mittels über Rücken und Gesäß reichender Gurte möglichst gut anliegend befestigt wird. Über einen Schlauch wird durch das Aggregat in der Pelotte rhythmisch Über- und Unterdruck erzeugt. Die Druckwerte sind bis zu 300 cm WS regulierbar. Die Wirkungsweise wird von den Herstellern folgendermaßen beschrieben: Durch den in der Pelotte erzeugten Unterdruck werden die Bauchdecken gehoben, die Bauchorgane folgen und ziehen stempelartig das Zwerchfell kaudalwärts, wodurch eine Einatmung erfolgt. Der Überdruck treibt dann auf dem Wege über Bauchdecken und Bauchorgane das Zwerchfell wieder kranial und bewirkt so die Ausatmung.

Das Aggregat läßt eine isolierte Regulierung für Über- und Unterdruck zu. Der in der Pelotte herrschende Druck ist an einem Manometer ablesbar. Ferner kann die Umschaltgeschwindigkeit von Überdruck auf Unterdruck

Variiert werden (Atemfrequenz). Schließlich läßt sich noch das Verhältnis von Einatmung zu Ausatmung verändern (Atemzeitquotient). In den Vorversuchen hat sich gezeigt, daß besonderer Wert auf guten Sitz der Pelotte zu legen ist. Die Pelotte soll auf der Symphyse und dem unteren Thoraxrand aufsitzen. Zur Entspannung der Bauchdecken hat sich das Aufstellen der Beine durch Unterlegen einer Knierolle als empfehlenswert erwiesen.

Die E l e k t r o l u n g e ist nach Hofmann (15) ein Niederfrequenzreizstromgerät, das mit Impulsströmen von minimaler Intensität arbeitet. Das Gerät liefert Stromstöße, die aus einzelnen, mit einer Frequenz von 50 Hz auftretenden Stromimpulsen bestehen. Diese Stromstöße können zur Reizung der Ein- und Ausatemmuskulatur verwendet werden. Das Gerät entspricht den von Kowarschik (23), Jantsch und Nückel (17) aufgestellten Forderungen für ein Reizstromgerät: Eine elektrolytische Wirkung ist durch die besondere Stromform vermieden. Selbst bei tagelanger Beatmung ist keine Gefahr für eine Hautschädigung gegeben (Kircher (20)). Infolge der Variationsmöglichkeit für Atemfrequenz, Atemtiefe und Verhältnis der Einatmung zur Ausatmung (von 1:1,25 bis 1:2), sowie weiterer Veränderungsmöglichkeit der Atemform durch Anwendung der Steuerung von Hand besteht die Möglichkeit einer weitgehenden Anpassung an jeden Atemtyp. Die automatische Einstellung ermöglicht eine absolute Reproduzierbarkeit der Stromkurve. Ausserdem gestattet das Gerät neben der Zweiphasenbeatmung (Reizung der Ein- und Ausatemmuskulatur) eine Einphasenbeatmung (getrennte Reizung der Ein- und Ausatemmuskulatur). Um einen möglichst günstigen Atemeffekt zu erreichen, entschlossen wir uns zur zweiphasischen Atemsubstitution: Unterstützung der Inspiration durch Reizung des Zwerchfells und der Thoraxmuskulatur über Brustelektroden und Unterstützung der Expiration durch Reizung der Bauchmuskulatur über zwei Bauchelektroden. Die Brustelektroden waren zwei in Höhe des Processus ensiformis gürtelförmig angelegte Bandelektroden. Die

beiden Plattenelektroden für die Ausatmung wurden in Höhe des Nabels im Rectusgebiet durch ein Gummiband fixiert. Die automatische Einstellung erfolgte so, daß eine dem Atemtyp der V.P. noch entsprechende, möglichst ruhige und tiefe Atmung zustande kam. Dabei wurde zu Beginn jeder Beatmung Wert auf eine psychische Gewöhnung der V.P. an das Beatmungsgerät gelegt. Diese Gewöhnung wurde erleichtert durch einschleichende Verstärkung der Reizströme bei gleichzeitiger Anpassung der Atemfrequenz und der Dauer der einzelnen Atemphasen an den Atemtyp.

Die m a n u e l l e Beatmung erfolgte nach persönlichen Angaben von U.Schneider^x: Die V.P. liegt in Rückenlage auf einem unnachgiebigen Untersuchungsbett, die Arme sind eleviert und im Ellenbogengelenk gewinkelt, so daß der Kopf auf die zusammengelegten Hände zu liegen kommt. Der Beatmer steht seitlich in Höhe des Beckens der V.P.. Zunächst werden einige spontane Atemzüge beobachtet um den Atemtyp der V.P. zu studieren. Dann erfolgt die Substitution der Ausatmung durch vibrierende Kompression des Thorax. Diese Kompression wird durch zwei im Laufe der Beatmung mehrfach wechselnde Griffe bewirkt. Einmal umspannen die Hände des Beatmers den Thorax an dessen kaudaler Begrenzung von lateral; beim zweiten Griff ist die Faust in der Gegend des M.pectoralis aufgesetzt, während auf der Gegenseite die flache Hand seitlich den unteren Thoraxrand umfaßt: Flanken - Brust - Beatmung. Bei der Kompression werden beide Hände aufeinander zugeführt. Die Einatmung erfolgt spontan nach dem Nachlassen des Druckes auf dem Thorax. Man überläßt dann die Atmung völlig der V. P. bis zum Beginn einer neuen Ausatmung, in die sich der substituierende Druck auf den Thorax erneut einschleicht. Der Druck auf den Thorax kommt dabei dem wiederholten Anstoßen eines Pendels gleich, wodurch immer größere Amplituden erreicht werden. Wesentlich bei dieser Be-

*Oberarzt am Institut für Physikalische Therapie und Leiter der Krankengymnastikschule in München

atmungsart ist, daß man vom Atemtyp der V.P. ausgeht und erst allmählich im Laufe von ca fünf Atemzügen die optimale Atemform durch Verzögerung oder Beschleunigung der Ausatmung zu erreichen sucht. Bei einer sehr abnormen Atemform gelingt dies natürlich nicht in einer Sitzung. Stets tritt jedoch eine erhebliche Minderung der Atemfrequenz zugunsten einer Vertiefung der Atmung ein. Die manuelle Beatmung wurde von Krankengymnastinnen des Riederinstitutes durchgeführt.

Auf die Versuchsreihe einer P h r e n o t o n - Beatmung mußte nach den Vorversuchen verzichtet werden, da deren konsequente Durchführung infolge der schweren Auffindbarkeit des kutanen Reizpunktes des N.phrenicus und infolge der Schwierigkeit einer längeren perkutanen Phrenicusbeatmung bei gleichzeitiger Inhalation in Frage gestellt war. Bei der Beatmung mittels des Phrenotons erfolgte die Reizung des N.phrenicus durch eine Fingerelektrode an der Stelle, an der dieser Nerv den M. skalenus ventralis unter dem claviculären Anteil des M. sternocleidomastoideus überkreuzt. Die indirekte Plattenelektrode war am Unterrand der Skapula der gleichen Seite angebracht. Nur bei 16 von insgesamt 23 V.P. konnte überhaupt eine Zwerchfellkontraktion durch Reizung des N. phrenicus erreicht werden. Die Zahl der erzielten Atemzüge schwankte zwischen 1 und 45. Dabei waren oft Suchzeiten bis zu 10 Min. erforderlich. Neben einem sehr diffizilen Absuchen der Gegend des Reizpunktes durch minutiöse Lageveränderungen der Fingerelektrode spielt bei dem Auffinden oft eine geringe Veränderung der Lage der indifferenten Plattenelektrode eine Rolle. Zur Erzielung einer Reizung des N. phrenicus scheint das Entstehen einer ganz bestimmten Stromschleife im Verlauf des Nerven notwendig zu sein. Das häufige Abrutschen der Fingerelektrode bereits nach dem ersten Atemzug ist durch das gleichzeitige Anspringen des Platysmas und des M. skalenus bedingt. Für das Abrutschen nach mehreren Atemzügen

sind Lageveränderungen der Elektrode durch Nachlassen des Fingerdrucks, durch Schluckbewegungen, unwillkürliches Anspannen der Halsmuskulatur und u. U. auch das Verrutschen der Plattenelektrode verantwortlich. Das Auffinden des Reizpunktes zum zweiten und dritten Male bei derselben V.P. war nicht wesentlich leichter als beim ersten Male. Die von Zettler (37) angegebenen, auf die Reizung des Plexus brachialis zurückzuführenden sensiblen Erscheinungen im Bereich des Armes traten bei vielen V.P. auf, wurden jedoch durchwegs als erträglich bezeichnet. Dagegen wurden von einer V.P., bei der eine Beatmung nicht gelang, wiederholt unangenehme Sensationen im Oberbauch angegeben, die einer kurzen heftigen Übelkeit mit gleichzeitigem Angstgefühl gleichkamen. Die Erscheinungen klangen jedesmal Sekunden nach kurzer Unterbrechung des Stromkreises ab. Es ist anzunehmen, daß dies der Ausdruck einer Reizung des N.vagus war. Unter diesen Umständen mußte von der Durchführung dieser Versuchsreihe Abstand genommen werden, obwohl im Selbstversuch der Eindruck gewonnen wurde, daß der Atemeffekt keiner der übrigen Beatmungsmethoden an den des Phrenotons heranreicht. Eine selbsthaltende Befestigung für die differente Elektrode in Form einer Spange um den Hals ließ sich überhaupt nicht verwenden. Eine andere Form der Elektrode (z.B. Einstechen einer Nadel) verbietet sich mit Rücksicht auf den beabsichtigten Verwendungszweck des Beatmungsgerätes.

C. Untersuchung der Beatmungsgeräte mit kontinuierlicher Atemschreibung am Spirographen nach Knipping:

Diese Versuchsreihe dient der Beurteilung der quantitativen Wirkung der oben beschriebenen Methoden zur Substitution bzw. Förderung der Atmung. In ähnlicher Weise sind derartige Versuche von Bolt, Valentin und Venrath (5) für Beatmung mit anderen Atemgeräten be-

schrieben (siehe oben). Bei diesen Versuchen stand jedoch weniger die Atemform, als vielmehr der Atemeffekt bei Atemlähmungen im Vordergrund.

Methodik:

Für die Versuche standen Schülerinnen der Krankengymnastikschule und Kollegen zur Verfügung. Eine organische Erkrankung speziell im Bereich des Atem- und des Kreislaufsystems war klinisch nicht nachweisbar.

Die spiographische Untersuchung wurde mit dem Spirographen nach Knipping durchgeführt. Für die Beurteilung der Beatmungsmethode wurden folgende spiographische Meßgrößen gewonnen: Atemvolumen (AV), Atemfrequenz (AF), Atemminutenvolumen (AMV) und Atemzeitquotient (AZQ). Bei der Normalatmung wurde zur besseren Kennzeichnung des Atemtyps die Vitalkapazität (VK) bestimmt.

Vor den spiographischen Untersuchungen wurde jede V.P. einmal nach jeder Methode beatmet, um ein gewisses Vertrautsein mit der Beatmungsmethode zu erreichen.

Zu der Atemschreibung lagen die V.P. in Rückenlage, Kopfende beim Spirographen, auf einer unnachgiebigen Unterlage. Der Anschluß an den Spirographen erfolgte über ein Mundstück bei gleichzeitiger Unterbindung der Nasenatmung durch eine Nasenklemme.

Vor der Atemschreibung mußte die V.P. eine halbe Stunde ruhen. Um andere spiographische Meßwerte als die der quantitativen Atemgrößen für eine zweite Versuchsreihe verwerten zu können, waren die V.P. nüchtern.

Im allgemeinen wurde bei jeder V.P. pro Tag nur eine Beatmung durchgeführt.

Der Ablauf der Untersuchungen war folgender: Zunächst erfolgte die Atemschreibung bei Normalatmung. Bei der Beatmung mit der Elektrolunge wurden dann die Elektroden unter Vermeidung von größeren Bewegungen der V.P. angelegt. Die elektrische Beatmung erfolgte in der oben

beschriebenen Weise. Die Atemschreibung setzte erst wieder ein, wenn eine optimale Einstellung der Beatmung erreicht war. Mitunter wurden mehrere Phasen geschrieben, von denen dann die beste zur Bewertung ausgewählt wurde. In analoger Weise wurden bei den Versuchen mit dem Biomotor nach dem Anlegen der Pelotte eine möglichst günstige Einstellung von Druck, Sog und Verhältnis der Ein- zur Ausatmung angestrebt. Dabei wurde auf die subjektiven Empfindungen des Beatmeten weitgehend Rücksicht genommen. Auch hier begann man mit der Atemschreibung erst nach sorgfältiger Anpassung der Geräteeinstellung. Bei der manuellen Beatmung konnte aus der Ruheschreibung heraus mit der Beatmung begonnen werden. Dabei zeigte sich, daß das Maximum des Beatmungseffektes erst nach drei bis vier Atemzügen erreicht ist. Von der Bewertung wurden diese ersten Atemzüge ausgeschlossen.

Zum Ausschluß einer Beeinflussung der Ergebnisse durch Verbesserung der Atmung infolge mehrmaliger Anwendung einer Atemsubstitution wurde die Reihenfolge der Anwendung der einzelnen Methoden bewußt geändert.

Ergebnisse:

Bei 10 V.P. konnten Atemkurven von allen drei Beatmungsarten gewonnen werden (V.P. I bis X]. Bei den übrigen V.P. mußten einige Untersuchungen aus organisatorischen Gründen ausfallen.

Die sich ergebenden Meßwerte sind im Folgenden tabellarisch zusammengefaßt und gegenübergestellt:

Tab. 1: Zusammenstellung der spiographischen Ventilationswerte bei Normalatmung.

lfd. No.	No.d. V.P.	AV	AF	AMV	VK	AZQ
1	I	275	17,0	4675	3400	1,0
2	II	500	15,0	7500	3700	1,1
3	III	550	11,0	6050	3550	1,6
4	IV	375	15,0	5625	2900	1,2
5	V	375	17,0	6400	2750	1,2
6	VI	500	14,0	7000	3075	1,5
7	VII	350	16,5	5775	3300	1,2
8	VIII	350	17,5	6125	2800	1,6
9	IX	1150	8,5	9500	3300	1,1
10	X	650	7,0	4550	3700	1,5
11	XI	975	5,3	5100	3300	2,8
12	XII	275	18,5	5087	2700	1,0
13	XIII	900	8,5	7650	4150	1,4
14	XIV	425	14,0	5950	2400	1,3
15	XV	400	14,0	5600	2300	1,0
16	XVI	520	10,0	5200	3600	2,3
17	XVII	500	15,5	7500	3750	1,2
18	XVIII	430	14,0	4550	3550	1,2
19	XIX	500	8,5	4250	3250	1,5
20	XX	325	17,5	5675	2850	1,2
21	XXI	400	16,0	6400	2750	.
22	XXII	400	17,5	7000	3650	1,8
23	XXIII	450	10,0	4500	3150	1,4
arithmet. Mittel		503	13,4	5985	3212	1,4

Tab. 2: Zusammenstellung der spiographischen Ventilationswerte bei Biomotorbeatmung.

lfd. No.	No.d. V.P.	Exsp. Druck	Insp. Sog	ein. AF	In./ Ex.	AV	AF	AMV	azq
1	I	100	180	8	1/1	1300	12,0	15600	1,1
2	II	100	160	12	-/3	1550	11,0	17060	1,0
3	III	100	160	10	-/1	1150	12,0	13800	1,4
4	IV	180	100	10	-/3	1050	10,0	10500	0,9
5	V	.	.	.	.	925	8,5	7875	0,9
6	VI	.	.	.	.	1250	9,5	11500	.
7	VII	100	240	8	-/2	850	11,0	9350	1,3
8	VIII	100	330	8	-/1	950	10,0	9500	1,0
9	IX	100	200	9	-/3	1100	10,5	11550	1,4
10	X	7	7	10	-/3	800	9,5	7600	1,6
11	XI	100	160	8	-/3	2600	7,0	18600	2,0
12	XII	100	30	10	-/3	950	10,0	9500	1,5
13	XV	100	180	10	-/2	1000	10,0	10000	1,2
14	XVII	7	7	12	-/3	2100	11,0	22100	.
15	XVIII	80	100	7	-/2	1350	10,0	13500	1,3
16	XIX	100	250	8	-/1	1550	9,5	14725	1,2
17	XX	100	180	8	-/2	1500	11,0	16500	1,3
18	XXI	100	160	9	-/3	1250	8,0	10000	1,7
arith. Mittel		86	83	9	---	1299	10,0	12737	1,3

Tab. 3: Zusammenstellung der spiographischen Ventilationswerte bei Beatmung mit der Elektrolunge nach Hofmann.

lfd. No.	No.d. V.P.	I Exsp	I Insp	ein AF	Exsp/Insp.	AV	AF	AMV	AZQ
1	I	0,35	1,6	9	1,25	875	10,0	8750	1,1
2	II	0,30	1,4	8	1,25	1300	9,0	11700	1,2
3	III	0,30	1,5	10	1,25	935	10,0	9350	1,2
4	IV	0,40	1,5	10	1,25	450	11,0	4950	1,2
5	V	0,30	1,2	9	1,25	700	9,0	6300	1,2
6	VI	0,15	0,9	6	1,25	1100	7,0	7700	1,1
7	VII	0,35	1,2	8	1,25	700	9,0	6300	1,1
8	VIII	0,30	1,0	9	1,25	600	10,0	6000	1,6
9	IX	0,20	1,5	6	1,25	1800	6,5	11250	1,1
10	X	0,40	1,6	7	1,50	650	7,0	4675	1,5
11	XI	0,30	1,1	6	1,50	700	6,0	4200	1,3
12	XIII	0,40	1,6	8	1,25	725	9,0	6525	1,3
13	XIV	0,10	1,3	10	1,25	1200	11,0	13200	1,2
14	XVI	0,55	1,6	9	1,75	1100	8,0	8800	0,8
15	XIX	0,40	1,5	10	1,25	550	10,0	5500	1,0
16	XXI	0,40	1,5	7	1,50	900	7,5	6750	1,4
17	XXII	0,40	1,4	10	1,25	925	11,0	10200	1,2
18	XXIII	0,40	1,2	8	1,25	700	9,0	6300	2,1
arith. Mittel		0,30	1,4	8,3	1,32	833	8,9	7692	1,3

Tab. 4: Zusammenstellung der spiographischen Ventilationswerte bei manueller Beatmung.

lfd. No.	No.d. V.P.	AV	AF	AMV	AZQ
1	I	2100	5,0	10500	1,98
2	II	1550	7,0	10850	1,56
3	III	1500	6,0	9750	1,20
4	IV	550	6,0	3300	2,10
5	V	1200	5,0	6000	.
6	VI	1750	5,0	8750	1,20
7	VII	800	5,3	4160	1,60
8	VIII	1450	7,5	10900	1,90
9	IX	2850	4,5	12825	1,60
10	X	1300	3,5	4550	1,60
11	XI	1700	4,0	6800	2,55
12	XII	800	8,5	6800	1,30
13	XIV	1800	5,7	10350	1,40
14	XVI	2550	5,0	12750	2,40
15	XVII	1025	9,0	9225	1,10
16	XVIII	1400	6,5	9100	1,60
17	XX	1200	8,5	9600	1,10
arith. Mittel		1501	6,0	8600	1,63

Tab. 5: Zusammenstellung der Mittelwerte aus den
Tab. 1 - 4 mit zugehöriger Eingrenzung
für $t=3$ ($E\bar{x}$).

	AV	$E\bar{x}$	AF	$E\bar{x}$	AMV	$E\bar{x}$	AZQ	$E\bar{x}$
Normal- atmung	503	± 134	13,4	$\pm 2,4$	5985	± 780	1,40	$\pm 0,29$
Biomot- beatmg.	1299	± 323	10,0	$\pm 0,9$	12737	± 2463	1,30	$\pm 0,21$
Elu- beatmg.	833	± 229	8,9	$\pm 1,1$	7692	± 1805	1,26	$\pm 0,19$
manuel. Beatmg.	1501	± 428	6,0	$\pm 1,1$	8600	± 2030	1,63	$\pm 0,30$

Zum Vergleich mit den Mittelwerten seien noch die Einzelwerte für einige V.P. zusammengestellt.

Tab.6: Gegenüberstellung der Ventilationsgrößen der
einzelnen Beatmungsmethoden für V.P. II, III, u.VI.

No.d. V.P.	Beatmungsart	AV	AF	AMV	VK	AZQ
II	Normalatmung	500	15	7500	3700	1,1
	Biomotorbeat.	1550	11	17060		1,0
	Elu-beatmg.	1300	9	11700		1,2
	manuel.-Beat.	1550	7	10850		1,6
III	Normalatmung	550	11	6050	3550	1,6
	Biomotorbeat.	1150	12	13800		1,4
	Elu-beatmg.	935	10	9350		1,2
	manuel.-Beat.	1500	6	9750		1,2
VI	Normalatmung	500	14	7000	3075	1,5
	Biomotorbeat.	1350	9	11500		.
	Elu-beatmg.	1100	7	7700		1,1
	manuel.-Beat.	1750	5	8750		1,1

Diskussion der Ergebnisse:

Die Ventilationsgrößen für Normalatmung weichen nicht von den von anderen Autoren angegebenen Werten ab:

AV 503 ccm; AF 13,4 Atz/Min.; AMV 5985 ccm;

VK 3212 ccm und AZQ 1:1,4 .

Die Beurteilung der Beatmungsmethoden durch die Versuchspersonen war verschieden. Am angenehmsten war die Beatmung von Hand. Sie wurde von fast allen V.P. als die Methode angegeben, bei der ohne Zwangsgefühl ein guter Beatmungseffekt empfunden wurde.

Die manuelle Beatmung erfordert aber viel Kraft. Ihre Durchführung in der Form, in der sie in der Versuchsreihe angewandt wurde, setzt eine gewisse Schulung des Beatmers voraus. Für die künstliche Beatmung bei Ersthilfeleistung durch einen Laien ist diese Methode nicht geeignet.

Bei der Biomotorbeatmung waren zur Einordnung der Spontanatmung oft relativ hohe Druckwerte notwendig. Trotzdem kam es verschiedentlich zu einer Gegendruckatmung, die die bereits von Bolt - Valentin - Venrath (4) angegebenen Kurven ergaben. Bei zwei von den angeführten Versuchen (10 und 14) dürfte ein Versagen des Manometers vorgelegen haben. Die Einstellung auf den Atemtyp der V.P. war entschieden schwieriger als bei der manuellen Beatmung. Vor allem wurde die einstellbare AF von manchen V.P. als zu hoch empfunden.

Die Elektrolunge bietet genügend Variationsmöglichkeiten für AF und AZQ für eine gute Einstellung auf den Atemtyp der V.P.. Die Stromintensität wurde so hoch gewählt, daß sie gerade an der Grenze unangenehmer Sensationen lag. Eine Unterdrückung der Spontanatmung war dabei nicht zu erreichen, doch kam es infolge der guten Anpassungsfähigkeit des Gerätes nur selten zu einer Entgleisung der Atmung. Die V.P. hatten bei der Elektrolungenbeatmung am wenigsten den Eindruck einer tatsächlichen Beatmung. Im Selbstversuch konnte der Unter-

schied zwischen einer Kontraktion des Zwerchfells durch eine elektrische Reizung des N. phrenicus (Phrenoton) und einer solchen bei direkter elektrischer Reizung des Zwerchfells mittels der Elektrolunge in Erfahrung gebracht werden. Demnach wäre überhaupt erst der Nachweis zu führen, in wie weit der Beatmungseffekt der Elektrolunge tatsächlich durch eine Kontraktion des Zwerchfells infolge der direkten Reizung zustande kommt.

Tabelle 5 gibt die Mittelwerte für AV, AF, AMV und AZQ mit ihren Eingrenzungen für $t = 3$ wieder. D.h. nach den angestellten Versuchen ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,7 % zu erwarten, daß die Ventilationswerte von weiteren Beatmungen innerhalb der angegebenen Grenzen liegen. Da aber die Stichprobenmittelwerte aus einer Zahl n kleiner als 30 gewonnen sind, das Verteilungsgesetz der Stichprobenmittelwerte aber erst bei einer Zahl von $n = 30$ dem normalen Verteilungsgesetz zustrebt, beträgt der Grad der Wahrscheinlichkeit für die Versuchsreihe nur 89,9 % (berechnet nach der Ungleichung von Bienaymé - Tschebyscheff:

$$p = 1 - \frac{1}{t^2}).$$

Für die Beurteilung, ob es sich bei den Veränderungen der Ventilationsgrößen durch die verschiedenen Methoden der Atemsubstitution um statistisch gesicherte handelt, kam das Sigma - Differenz - Verfahren zur Anwendung. In Tabelle 7 sind die absolute Differenz, die mittleren quadratischen Abweichungen der arithmetischen Mittel (Sigma - Differenz) und die sich daraus ergebenden t -Werte zusammengestellt.

Legt man einen Sicherheitsgrad von $t = 3$ zugrunde (das ist für unsere Versuchsreihen umgerechnet nach der Ungleichung von Bienaymé - Tschebyscheff eine Wahrscheinlichkeit von 89,9 %), so kann man der Tabelle 7 im Zusammenhang mit den vorhergehenden Tabellen Folgendes entnehmen:

Tab. 7: Absolute Differenz, Sigma-Differenz und zugehörige t-Werte für die Mittelwerte der Ventilationsgrößen.

	AV		AF			AMV		AZQ				
	abs. Diff.	Sig. Diff	t	abs. Diff	Sig. Diff	t	abs. Diff	Sig. Diff	t			
Differenz zwischen												
Normalatmung/ Biomotorbeat.	796	115	6,9	3,4	0,84	4,0	6752	854	7,9	0,10	0,11	0,9
Normalatmung/ Elu-beatung.	330	88	3,7	4,5	0,87	5,1	1707	650	2,6	0,14	0,11	1,3
Normalatmung/ manuel.-Beat.	998	149	6,6	7,4	0,88	8,4	2615	335	7,8	0,23	0,14	1,6
Biomotorbeat./ Elu-beatung.	456	131	3,5	1,1	0,46	2,4	5045	1008	5,0	0,04	0,10	0,4
Biomotorbeat./ manuel.-Beat.	202	178	1,1	4,0	0,47	8,5	4137	841	4,9	0,33	0,13	2,5
Elu-beatung./ manuel.-Beat.	668	158	4,2	2,9	0,52	5,6	908	633	1,5	0,37	0,13	2,9

1. Das Atemvolumen wird durch alle drei Formen der Atemsubstitution gegenüber der Normalatmung wesentlich erhöht. Im Mittel wird das AV durch den Biomotor um 796 ccm, durch die Elektrolunge um 330 ccm und durch die manuelle Beatmung um 998 ccm vergrößert. Das AV ist bei Biomotorbeatmung um 466 ccm und bei manueller Beatmung um 668 ccm größer als bei der Beatmung mit der Elektrolunge. (s. Abb. 1)

2. Die Atemfrequenz nimmt in der Reihenfolge Normalatmung, Biomotor-, Elektrolungen- und manuelle Beatmung deutlich ab (13,4; 10,0; 8,9; 6,0 Atz/Min.). Die Differenz gegenüber der Normalatmung ist somit bei der manuellen Beatmung am größten (7,4). Aber auch der Unterschied in der AF zwischen Normalatmung und Biomotorbeatmung mit 3,4 und der zwischen Normalatmung und Elektrolungenbeatmung mit 4,5 kann als statistisch gesichert gelten. Ebenso ist die Verminderung der AF bei der manuellen Beatmung gegenüber der Biomotorbeatmung mit 4,0 und gegenüber der Elektrolungenbeatmung mit 2,9 als wesentlich zu bezeichnen; nicht dagegen der Unterschied in der AF zwischen Biomotor- und Elektrolungenbeatmung. (s. Abb. 3)

3. Das Atemminutenvolumen wird unter Zugrundelegung eines Sicherheitsgrades von 89,9 % durch den Biomotor um 6752 ccm und durch die manuelle Beatmung um 2615 ccm wesentlich erhöht. Die Erhöhung des AMV durch die Atemsubstitution mit der Elektrolunge kann mit einer Sicherheit von 88,2 % noch als statistisch gesichert gelten. Dabei ist die Vergrößerung des AMV durch die Biomotorbeatmung wesentlich höher als bei Elektrolungen- oder manueller Beatmung. Die Differenz zwischen Elektrolungen- und manueller Beatmung liegt noch im Bereich der zufälligen Fehler. (s. Abb. 2)

4. Die Werte für den Atemzeitquotienten zeigen bei allen drei Formen der Atemsubstitution keine wesentliche Abweichung von der Normalatmung. Lediglich bei der manuellen Beatmung ergibt sich gegenüber den an-

deren Formen der Atemsubstitution eine Verlängerung der Ausatmung.

Vergleicht man die Mittelwerte der Tabelle 5 mit den Einzelwerten der Tabelle 6, so zeigt sich deutlich, daß die in den Mittelwerten zum Ausdruck kommenden Veränderungen der Ventilationsgrößen nicht rein rechnerisch ermittelte Werte darstellen, sondern, daß bei den einzelnen V.P. tatsächlich gleichsinnige Veränderungen bewirkt werden.

In den Diagrammen der Abbildungen 1 und 2 sind die Mittelwerte der AV und der AMV mit ihren Eingrenzungen für $t = 3$ (Drei-Sigma-Regel) bildlich wiedergegeben. Den quantitativen und qualitativen Unterschied der Wirkungsweise der verschiedenen Methoden der Atemsubstitution veranschaulicht am besten das Flächendiagramm der Abbildung 3.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Die Ventilationsgrößen werden durch alle drei Formen der Atemsubstitution vergrößert. Die größte Entfaltung der Lungen bewirkt bei gleichzeitig geringster AF die manuelle Beatmung. Der beste Atemeffekt pro Minute wird durch die Biomotorbeatmung erzielt. Die AMV-Erhöhung durch den Biomotor ist größer als die durch Elektrolungen- oder manuelle Beatmung. Die AF nimmt in der Reihenfolge Normalatmung, Biomotor-, Elektrolungen- und manueller Beatmung ab. Die manuelle Beatmung bewirkt gegenüber den anderen Beatmungsformen eine Verlängerung der Ausatmung.

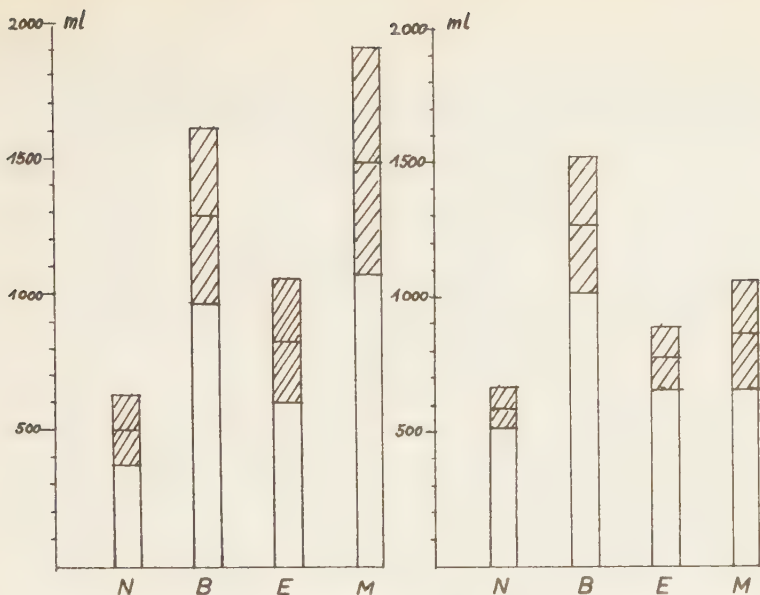


Abb. 1: Veränderungen des AV durch die verschiedenen Methoden der Beatmung. Abb. 2: Veränderungen des AV durch die verschiedenen Methoden der Beatmung.

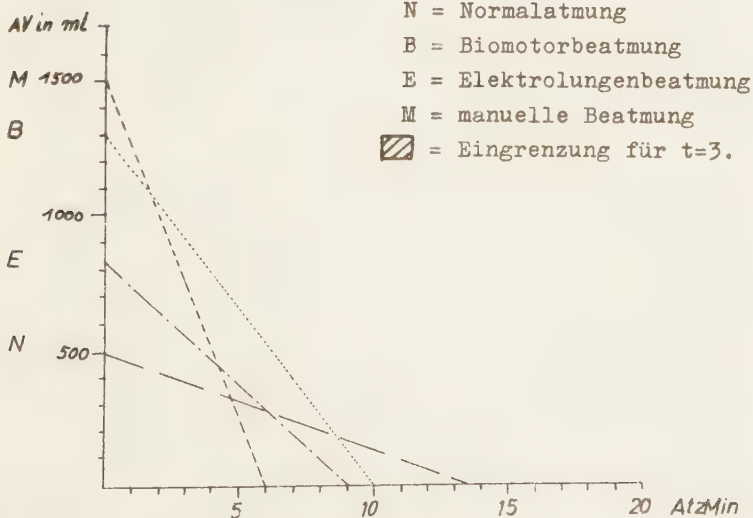


Abb. 3: Veranschaulichung des tatsächlichen Atemeffekts beim Atemgesunden.

Teil II : Untersuchungen über die Beeinflussung der Resorptionsgröße bei Substitution der Atmung während der Inhalation.

Allgemeines und Abgrenzung:

Die Versuche sollen zeigen, ob bei Atemgesunden eine Förderung der Atmung während der Inhalation die Resorption des Aerosols entscheidend beeinflusst. Die Atemsubstitution erfolgt dabei durch die in Teil I dieser Arbeit untersuchten Methoden.

Nicht erörtert wird die Möglichkeit, daß es bei Atemkranken durch Verbesserung des Atemtyps mittels Atemgymnastik nach den verschiedenen Methoden (s.o.) zu einer vermehrten Resorption von Aerosol kommen kann. Diese Verbesserung des Atemtyps ist bereits von mehreren Autoren beschrieben (Klotz - Sauerwein (21), Abendroth (1) u.a.).

Methodik:

Die Bestimmung der Resorptionsgröße bei der Inhalation erfolgte nach der von Neubig (26) erstmals angegebenen Methode mit Inhalation von Para-Aminohippursaurem Natrium (PAH) (Handelsform: Nephrotest von Casella) und Bestimmung der Menge der Ausscheidung im Urin.

In vier Versuchsreihen wurden Werte für PAH-Ausscheidung nach Inhalation ohne Atemsubstitution und nach Inhalation mit Biomotorbeatmung, Beatmung mit der Elektrolunge und manueller Beatmung ermittelt. Die Versuchsreihe einer Inhalation mit der Phrenotonbeatmung mußte wegen der oben angeführten Schwierigkeiten aufgegeben werden. Die wenigen Versuche mit Phrenotonbeatmung mußten verworfen werden, da sich ein zu großer Verneblungsrückstand infolge des frühzeitigen Abbruchs der Inhalation ergab.

Zu den Inhalationsversuchen lag die V.P. wie bei den Versuchen am Knipping - Spirographen in zwangloser Haltung in Rückenlag auf einem unnachgiebigen Untersuchungsbett mit leicht erhöhtem Kopfteil.

Die Einstellung der Beatmungsgeräte unterschied sich im allgemeinen nicht von der bei den Versuchen am Knipping - Spirographen angewandten. Lediglich beim Biomotor wurde die Intensität gesteigert, da sich bei den spiographischen Untersuchungen verschiedentlich gezeigt hat, daß die V.P. eine Gegendruck-Atmung ausführen, die offenbar unbewußt auf dem Wege eines Abwehrreflexes zustande kommt.

Analog den Versuchen in Teil I wurde auch bei den Inhalationsversuchen zunächst einschleichend mit der Beatmung begonnen. Erst dann, wenn die Beatmung einige Minuten eine gleichförmige Atmung bewirkt hatte, wurde die V.P. an das Inhalationsgerät angeschlossen. Gleichzeitig erfolgte das Einschalten der atemsynchronen Verneblung.

Insgesamt wurden 68 Versuche an 19 V.P. durchgeführt. Es wurde angestrebt, für jede V.P. Werte von allen vier Versuchsreihen zu erhalten. Die Reihenfolge der Anwendung der verschiedenen Arten der Atemsubstitution und der Normalinhalation wurde bewußt gewechselt. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Versuchen an derselben V.P. betrug wenigstens 24 Stunden.

Zur Erzeugung des PAH-Nebels wurde auf Grund der Untersuchungen von Welker (35) ein Pari-Optimal-Vernebler mit Inhalationsregulator verwendet. Die Einstellung der Verneblerdüse blieb für alle Versuche die gleiche. Mit Hilfe eines Reduzierventils konnte die Einstellung des Verneblungsdruckes auf konstant 1,9 atm bei geöffnetem Verneblungsventil eingehalten werden. Bei geschlossenem Ventil stieg der Druck auf ungefähr 2,0 - 2,1 atm an. Die bei diesem Druck gelieferte Nebelmenge betrug nach Messungen mit einem

Durchströmungsgasometer 4,6 - 5,1 l/Min. bei Daueröffnung des Verneblerventils. Da diese Nebelmenge nicht für die bei der Atemsubstitution zu erwartenden Ventilationsgrößen ausreicht, mußte der Zutritt von Nebenluft ermöglicht werden, um einer Beeinträchtigung des AV vorzubeugen. Die Menge dieser Zusatzluft (ZL) wurde durch ein im Seitenschluß liegendes Gasometer bestimmt (s. Abb. 4). Der Anschluß der V.P. an den Pari-Vernebler erfolgte über ein Mundstück bei gleichzeitiger Unterbindung der Nasenatmung durch eine Nasenklemme. Der Pari-Vernebler war seitlich neben dem Kopf der V.P. an einem Stativ angebracht, so daß das Mundstück durch eine geringgradige Seiddrehung des Kopfes zu erreichen war.

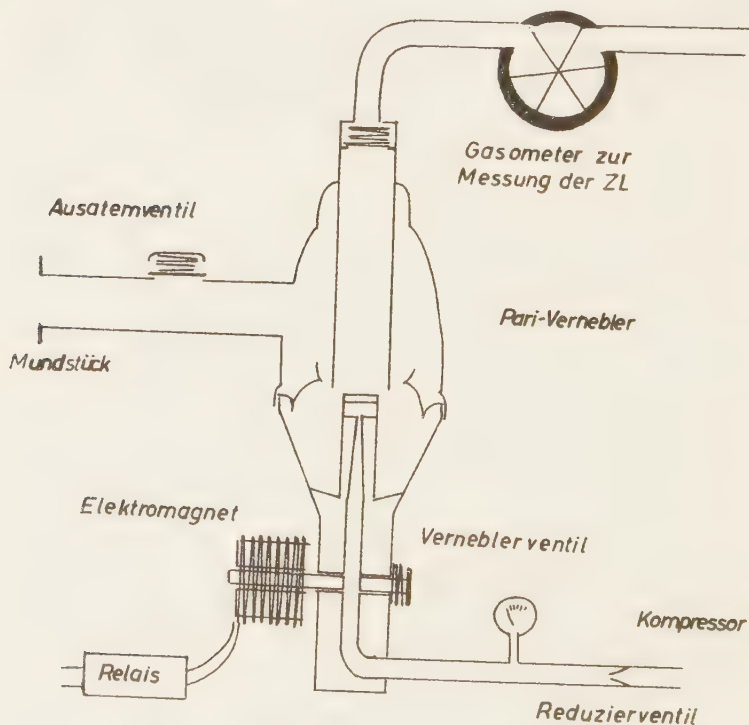
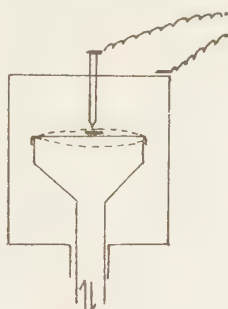


Abb. 4: Schematische Darstellung des Aufbaus der Vernebleranordnung.

Zur Vermeidung großer, unkontrollierbarer PAH-Verluste erfolgte eine Verneblung nur während der Einatmung. Um hierbei die subjektive Komponente bei der Betätigung des Verneblerventils auszuschließen, war der Bau eines Mechanismus erforderlich, der ein von den Beatmungsgeräten gesteuertes Öffnen des Verneblerventils während der Dauer der Einatmung gewährleistet.

Beim Biomotor wurde mit dem Druckraum der Pelotte eine Marey'sche Kapsel verbunden. Durch die in der Pelotte stattfindenden Druckänderungen wird mittels eines auf der Gummimembran angebrachten Metallplättchens ein Schwachstromkreis synchron der Atmung geschlossen oder

Anschluß am Relais



zur Pelotte

Abb. 5: Marey'sche Kapsel zur Steuerung des Ventils.

geöffnet (s. Abb. 5). Die so entstehenden Schwachstromimpulse betätigen über ein Relais einen mit dem Verneblerventil in Verbindung stehenden Elektromagneten so, daß während der Einatmung Druckluft zum Vernebler strömt.

Bei der Elektrolunge wird ein der Einatmung synchroner Schwachstromimpuls aus dem Gerät abgeleitet. Über das Relais erfolgt dann wiederum die Betätigung des Lufteinlaßventils mittels des Elektromagneten.

Um bei der Inhalation mit manueller Beatmung und bei der ohne Atemsubstitution einen langwierigen Umbau zu vermeiden, wurde auch hier die Betätigung des Verneblerventils durch den Elektromagneten beibehalten. Der Stromkreis für den Elektromagneten wurde dabei mittels eines Fußschalters unter genauer Beobachtung der Atmung synchron der Einatmung geschlossen.

Für jede Inhalation wurden 3 ccm einer 20%igen PAH-Lösung in den Vernebler eingefüllt. Das entspricht einer absoluten PAH-Menge von 600 000 Gamma. Auf Grund der Ergebnisse der Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der PAH-Ausscheidung im Urin sind nach Welker (35) und Pichelmaier (27) sechs Stunden nach einer PAH-Inhalation nur noch Spuren von PAH im Urin nachweisbar. Die Resorptionsgröße konnte demnach der im 6-Stunden-Urin nachweisbaren PAH-Menge gleichgesetzt werden. Nach Welker ist die PAH-Resorption aus Mund und Magen-Darmkanal mit 1,5% nicht ins Gewicht fallend. Es konnte daher trotz der relativ großen Menge des sich im Mund niederschlagenden Nebels (nach Welker 32%) auf die Bestimmung dieses Anteils verzichtet werden, ohne daß dadurch ein nicht zu übersehender Fehler für die Beurteilung der Resorptionsgröße zu befürchten gewesen wäre. Zudem hätte die Bestimmung der Niederschlagsmenge im Mund eine weitere Komplizierung der Versuchsanordnung gebracht.

Die Versuchsdauer war nicht von vornherein festgelegt. Der Versuch wurde jeweils dann abgebrochen, wenn die von der Düse gelieferte Nebelmenge erheblich zurückging. Dieser Zeitpunkt war dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Ausatemungsventil kein sichtbarer Nebel mehr austrat. In Vorversuchen hat sich gezeigt, daß von diesem Zeitpunkt an vom Vernebler nur noch geringe Nebelmengen in wechselnden Abständen abgegeben werden.

Die Analyse des PAH erfolgte nach der von Smith und Mitarbeitern (36) angegebenen Weise, in der sie auch von Neubig, Welker und Pichelmaier bei Inhalationsversuchen mit PAH ausgeführt worden war. Der absolute PAH-Gehalt der Analysenflüssigkeiten wurde an Hand der Photometerextinktionen aus einer eigens für das ELCO-Photometer aufgestellten Eichkurve bestimmt.

Zur Bestimmung der nicht vernebelten Anteile der PAH-

Lösung wurden die nebelführenden Teile des Inhalationsgerätes nach jedem Versuch mit ca 200 ccm aqua dest. gespült und durch Analyse der Gehalt an PAH in der Waschflüssigkeit bestimmt. (=Rückstand).

Ergebnisse:

In den Tabellen 8 - 11 sind die Ergebnisse der vier Versuchsreihen zusammengestellt. Dabei sind unter No. 1 - 4 die Werte derjenigen V.P. vorangestellt, bei denen von jeder der vier Versuchsreihen Werte erhalten werden konnten.

Die Mengen des Rückstandes (Sp. 10) und die der PAH-Ausscheidung (Sp. 14) sind durch Analyse der Waschflüssigkeit bzw. des Urins ermittelt. Die Differenz zwischen dem Rückstand und der eingefüllten Menge wurde als vernebelte PAH-Menge bezeichnet. Diese Bezeichnung ist insofern nicht ganz exakt, als nämlich der Teil des Nebels, der sich an den Wänden des Inhalationsgerätes und der Zuleitung zu der V.P. niedergeschlagen hat, sowie der in dem Ausatmungsventil kondensierende Teil des exhaliierten Nebels im "Rückstand" mitefäßt ist. Da die Inhalationsanordnung nicht verändert wurde, können diese Faktoren als konstant betrachtet werden und müssen bei einem Rückstand von weniger als 85 % der eingefüllten PAH-Menge nicht berücksichtigt werden. Als Verlust (Sp. 16) ist die Differenz zwischen der vernebelten Menge PAH und der ausgeschiedenen Menge angeführt. Dieser Verlust ist der durch Ausatmung oder Verschlucken nicht zur Resorption gelangte Teil des mit der V.P. in Berührung gekommenen PAH-Nebels.

Die Prozentzahlen für den Rückstand, die vernebelte Menge PAH und den Verlust (Sp. 11, 13, 17) beziehen sich auf die eingefüllte Menge von 600 000 Gamma (=3 ccm) PAH. Die Bezugsgröße der Prozentzahlen für die PAH-Ausscheidung (Sp. 15) ist die jeweils bei dem betreffenden Versuch vernebelte PAH-Menge.

Tab. 8: Zusammenstellung der Ergebnisse bei PAH-Inhalation ohne Atemsubstitution.

Ifd No.	No.d. V.P.	Vers. No.	Dauer des Versuchs	ZL	AP	PAH-Rück- stand			vernebelte PAH-Menge			PAH-Aus- scheidung			PAH- Verlust		
						in gamma	in %	in mg	in gamma	in %	in mg	in gamma	in %	in mg	in gamma	in %	in mg
1	2	3	4	5	6	10	11	12	13	14	15	16	17				
1	VI	25	15	140	8,0	467200	77,9	132800	22,1	44309	33,4	88491	14,8				
2	X	68	.	111	11,0	411450	68,6	188550	31,4	54275	28,8	134275	22,4				
3	XIII	22	14	.	10,0	396000	66,0	204000	34,0	31110	15,3	172890	28,8				
4	XV	26	13	125	10,0	469440	78,2	130560	21,8	35880	27,5	94680	15,8				
5	XIX	64	15	151	12,5	436170	72,7	163830	27,3	44014	26,9	119816	20,0				
6	XVIII	34	12	146	9,5	475860	79,3	124140	20,7	26268	21,2	97872	16,3				
arith.Mittel			13,8	135	10,2	442687	73,8	157313	26,2	39309	25,5	118004	19,7				

Tab. 9: Zusammenstellung der Ergebnisse bei PAH-Inhalation mit Biomotorbeatmung.

lfd No.	No. d. V.P.	Vers. No.	Dauer des Versuchs	ZL	AP	Insp./Exsp.	Intens. in cmWS		PAH-Rück- stand		vernebelte PAH-Menge		PAH-Aus- scheidung		PAH- Verlust	
							Druck	in cmWS	in gamma	in %	in gamma	in %	in gamma	in %	in gamma	in %
1	VI	10	24	357	9,5	-/2	200	180	492180	82,0	107820	18,8	37990	35,2	69880	11,6
2	X	63	13	144	12,0	-/2	200	300	398160	66,4	201840	33,6	76405	37,8	125435	20,9
3	XIII	61	13	174	12,0	-/2	150	200	474600	79,1	125400	20,9	40448	32,3	84952	14,2
4	XV	37	15	174	14,0	-/2	200	300	470250	78,4	129750	21,6	42884	33,1	86966	14,5
5	XIX	43	15	210	12,0	-/2	200	300	462600	77,1	137400	22,9	52998	38,6	84402	10,7
6	XI	33	12	143	10,5	-/2	200	260	428460	71,4	171540	28,6	49296	28,7	122244	20,4
7	XVI	36	13	209	13,0	-/2	200	300	471960	78,7	128040	21,3	32775	25,6	95265	15,9
8	XVII	53	14	243	11,0	-/2	200	300	500080	83,3	99920	16,7	37556	37,6	62364	10,4
9	II	2	27	78	10,0	-/2	100	100	442320	73,8	157680	26,2	33465	21,2	124215	20,7
arithh. Mittel			16,2	192,4	11,5	-/2	183	249	460086	76,7	139932	23,4	44868	32,2	95063	15,5

Tab. 10: Zusammenstellung der Ergebnisse bei PAH-Inhalationen bei Beatmung mit der Elektrolunge.

lfd No.	No.d. V.P.	Vers. No.	Dauer des Versuchs	ZL	AP	Exsp.: Insp		Stromst. mA		PAH-Rück- stand		vernebelte PAH-Menge		PAH-Aus- scheidung		PAH- Verlust	
						Exsp.	Insp.	Exsp.	Insp.	in gamma	in %v.	in gamma	in %v.	in gamma	in %v.	in gamma	in %v.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	VI	8	14	229	10	1,25	0,4	1,2	464100	77,4	135900	22,6	46950	34,5	88950	14,8	
2	X	16	18	85	10	1,25	0,4	1,3	372960	62,2	227040	37,8	65048	29,1	161992	27,0	
3	XI	17	12	95	10	1,25	0,4	1,2	422400	70,4	177600	29,6	33338	18,8	144262	24,0	
4	XIII	19	14	120	10	1,25	0,4	0,8	411800	68,6	188200	31,4	58000	30,8	130200	21,7	
5	XV	40	13	190	10	1,25	0,4	1,6	466620	77,8	133380	22,2	48128	36,1	85252	14,2	
6	XVI	27	17	161	8	1,25	0,5	1,5	476140	79,4	123860	20,6	40598	32,8	83262	13,9	
7	XIX	45	14	149	14	1,25	0,3	0,9	494340	82,4	105660	17,6	31144	29,6	74516	12,4	
8	XVII	31	15	217	8	1,25	0,3	1,1	486750	81,1	113250	18,9	27213	24,0	86037	14,3	
9	VIII	14	20	158	9	1,25	0,4	1,9	423700	70,6	176300	29,4	46049	26,1	130251	21,7	
10	IX	15	17	81	9	1,25	0,4	2,3	477360	79,6	122640	20,4	41280	33,7	81360	13,5	
arith. Mittel			15,4	149	9,8	1,25	0,4	1,4	449617	74,9	150383	25,1	43775	29,5	106608	17,7	

Tab. 11: Zusammenstellung der Ergebnisse bei PAH-Inhalation mit manueller Beatmung.

lfd No.	No. d. V.P.	Verz. No.	Dauer des Versuchs	ZL	AF	PAH-Rück- stand		vernebelte PAH-Menge		PAH-Aus- scheidung		PAH- Verlust		
						in gamma	in %	in gamma	in %	in gamma	in %	in gamma	in %	
1	2	3	4	5	6	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	VI	47	15	216	6,0	504000	48,0	96000	16,0	47410	49,4	48590	8,1	
2	X	66	14	150	7,5	432900	72,2	167100	27,9	59620	35,7	107480	17,9	
3	XI	46	14	230	7,0	490000	81,7	110000	18,3	28550	25,9	81450	13,6	
4	XIII	65	16	183	9,0	370540	61,8	229460	38,2	72230	31,5	157230	26,2	
5	XV	54	13	8	7,0	499220	83,2	100780	16,8	37752	37,5	63028	10,5	
6	XVI	67	18	232	6,5	484000	80,7	116000	19,3	54285	46,8	61715	10,3	
7	XIX	50	20	235	10,0	414060	69,0	185940	31,0	49528	26,6	136412	22,7	
8	XVII	52	19	267	7,5	329840	55,0	270160	45,0	52896	19,6	217264	36,2	
arith.Mittel				16,1	216	7,6	440570	73,4	159430	26,5	50284	34,1	109146	18,2

Tab. 12: Zusammenstellung der Mittelwerte für die Inhalationsversuche mit Eingrenzung für $t=3$.

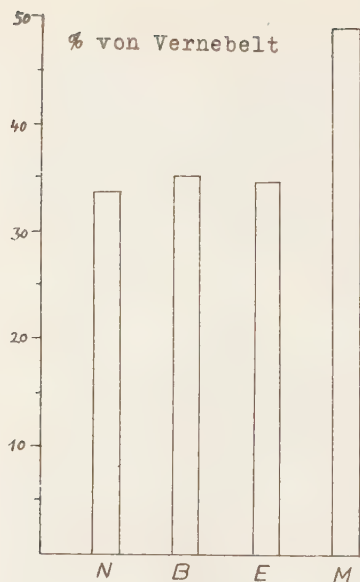
Beatmg.- art.	Dauer d. Versuchs		ZL		AP		vernebelte PAH-Menge		PAH-Aus- scheidung		PAH- Verlust	
	arith. M.	$\bar{E}\bar{x}$	arith. M.	$\bar{E}\bar{x}$	arith. M.	$\bar{E}\bar{x}$	arith. M.	$\bar{E}\bar{x}$	arith. M.	$\bar{E}\bar{x}$	arith. M.	$\bar{E}\bar{x}$
Normal- atmung	13,8	$\pm 1,4$	135	± 18	10,2	$\pm 1,7$	26,2	$\pm 6,1$	25,5	$\pm 6,9$	19,7	$\pm 5,8$
Biomot- beatmg.	16,2	$\pm 5,1$	192	± 74	11,5	$\pm 1,4$	23,4	$\pm 4,9$	32,2	$\pm 5,7$	15,5	$\pm 4,1$
Flu- beatmg.	15,4	$\pm 2,4$	149	± 48	9,8	$\pm 1,5$	25,1	$\pm 5,9$	29,5	$\pm 4,8$	17,8	$\pm 4,8$
manuel- Beatmg.	16,1	$\pm 2,6$	216	± 39	7,6	$\pm 1,3$	26,5	$\pm 11,2$	34,1	$\pm 10,6$	18,2	$\pm 7,1$

Da bei der gegebenen Zahl der verwertbaren Versuche eine statistische Auswertung allein nicht exakt genug erscheint, seien zur Gesamtbeurteilung den Mittelwerten von Tab. 12 die Einzelwerte von verschiedenen V.P., bei denen alle vier Versuche verwertbar waren, beigelegt (Tab. 13).

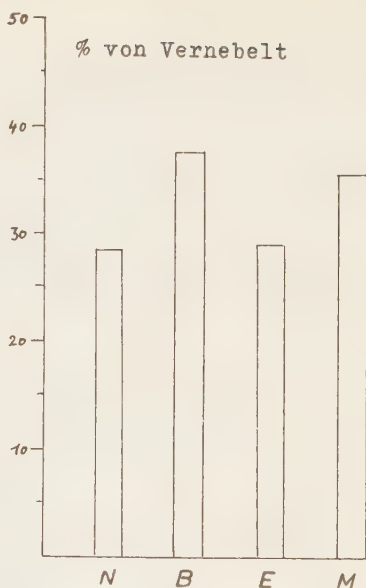
Die Werte für die PAH-Ausscheidung sind in Abb. 6 in einem Diagramm zusammengestellt.

Tab. 13: Übersicht über die Ergebnisse der Inhalationsversuche bei einzelnen V.P..

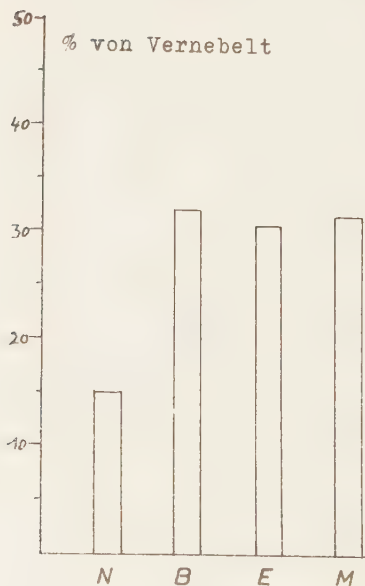
No.d. V.P.	Inhalation bei	Dauer des versuchs	ZL	AF	vernebelt, % von 600 000	Ausscheid., % von vernebelt	Verlust % von 600 000
VI	Normalatmung	15	140	8,0	21,1	33,4	14,8
	Biomotorbeat.	24	357	9,5	18,0	35,2	11,6
	Elu-beatmg.	14	229	10,0	22,6	34,5	14,8
	manuel.-Beat.	15	216	6,0	16,0	49,4	8,1
X	Normalatmung	.	111	11,0	31,4	28,8	22,4
	Biomotorbeat.	13	144	12,0	33,6	37,8	20,9
	Elu-beatmg.	18	85	10,0	37,8	29,1	27,0
	manuel.-Beat.	14	150	7,5	27,9	35,7	17,9
XIII	Normalatmung	14	.	10,0	34,0	15,3	28,8
	Biomotorbeat.	13	174	12,0	20,9	32,3	14,2
	Elu-beatmg.	14	120	10,0	31,4	30,8	21,7
	manuel.-Beat.	16	183	9,0	38,2	31,5	26,2



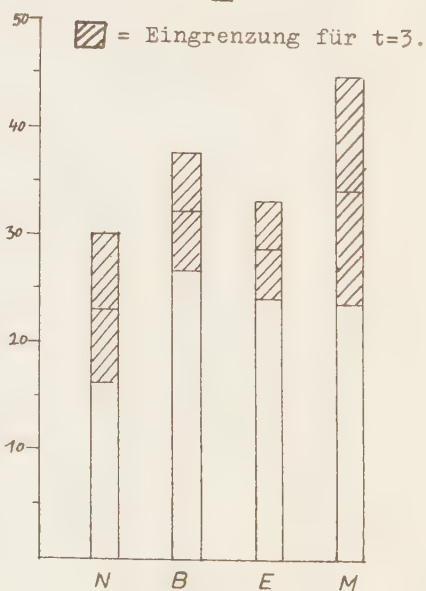
V.P. VI



V.P. X



V.P. XIII



Mittelwerte

Abb. 6: Veränderungen der PAH-Ausscheidung durch die verschiedenen Methoden der künstlichen Beatmung bei den VP 6, 10 und 13 im Vergleich mit den Mittelwerten.

Diskussion der Ergebnisse der Inhalationsversuche:

Von den 68 Versuchen konnten 52 vollständig durchgeführt werden. Bei 12 Versuchen wurde keine Analyse des PAH-Gehalts durchgeführt, da der 6-Stunden-Urin nicht oder nur unvollständig gesammelt wurde. Zwei Versuche mußten wegen starken Hustenreizes während der Inhalation, ein weiterer wegen Nachlassens der Kompressorleistung abgebrochen werden. Die Werte einer Analyse wurden verworfen, da auf Grund einer starken Abweichung des bei jeder Analyse mitgeführten Kontrollwertes ein Analysenfehler angenommen werden mußte.

Auf Grund eines Streudiagrammes wurde festgestellt, daß Versuche, bei denen die vernebelte Menge PAH weniger als 15 % von 600 000 Gamma und die ausgeschiedene Menge PAH weniger als 15 % der vernebelten Menge betragen, zu große Fehlerquellen darstellen. Deshalb wurden von den 62 Versuchen weitere 16 ausgeschieden. Die Ergebnisse von drei Versuchen einer V.P. konnten wegen einer Diuresestörung, die erst im Verlauf der Versuche in Erscheinung trat, nicht verwertet werden.

Die unterschiedliche Zahl von Versuchen bei den verschiedenen Formen der Beatmung ist rein zufällig. Eine bestimmte Häufung der Fehler auf eine Versuchsreihe ist nicht zu erkennen.

Die in den Tabellen 12 und 14 wiedergegebenen Meßzahlen dienen nicht zur statistischen Sicherung der Ergebnisse. Sie sollen ohne Anspruch auf eine statistische Wahrscheinlichkeit der Aussage eine kritische Beurteilung der im Folgenden aus der Gesamtheit der Ergebnisse gezogenen Schlüsse ermöglichen.

Wie aus Tabelle 8 - 11 ersichtlich, weichen die Werte für die Einstellung des Biomotors und der Elektrolunge mit Ausnahme der oben erwähnten Verstärkung der Intensität bei der Biomotorbeatmung nicht wesentlich von den bei den Versuchen am Knipping-Spirographen ermittelten Werten ab. In Tabelle 9, Sp.7 ist die Skalen-

Tab. 14: Zusammenstellung der absoluten Differenz, der Sigma - Differenz und des zugehörigen t-Wertes für die Mittelwerte der Inhalationsversuche.

	Dauer des Versuchs			ZL			AF			vernebelte PAH-Menge			PAH-Ausscheidung			PAH-Verlust		
	abs Dif	Sig Dif	t	abs Dif	Sig Dif	t	abs Dif	Sig Dif	t	abs Dif	Sig Dif	t	abs Dif	Sig Dif	t	abs Dif	Sig Dif	t
Differenz zwischen																		
Normalatmung/ Biomotorbeat.	2,4	1,8	1,3	57	25	2,3	1,3	0,7	1,8	2,8	2,7	1,0	6,7	3,0	2,2	4,2	2,4	1,8
Normalatmung/ Elu-beatmg.	1,6	0,9	1,8	14	17	0,8	0,4	0,8	0,5	1,1	2,9	0,4	4,0	4,2	1,0	1,9	2,5	0,8
Normalatmung/ manuel.-Beat.	2,3	1,0	2,3	81	15	5,4	2,6	0,7	3,7	0,3	4,1	0,1	8,6	4,6	1,8	1,5	3,0	0,5
Biomotorbeat./ Elu-beatmg.	0,8	1,9	0,4	43	29	1,5	1,7	0,7	2,4	1,7	2,6	0,6	2,7	2,4	1,1	2,3	2,1	1,1
Biomotorbeat./ manuel.-Beat.	0,1	1,9	0,1	24	28	0,8	3,9	0,6	6,5	3,1	3,9	0,8	1,9	2,2	0,9	2,7	2,6	1,0
Elu-beatmg./ manuel.-Beat.	0,7	1,1	0,6	67	21	3,2	2,2	0,7	3,1	1,4	4,1	0,3	4,6	2,0	2,3	0,4	2,8	0,1

einstellung für Insp./Exsp. angeführt. Die Umschaltgeschwindigkeit bei der verwendeten Einstellung $-/2$ entspricht dem Verhältnis von Exsp.: Insp. = 1,3. Der wirkliche AZQ bei den Inhalationen konnte im Rahmen dieser Versuchsreihe aus technischen Gründen nicht ermittelt werden. Bei der Beobachtung der Atmung hatte man jedoch verschiedentlich den Eindruck, daß bei den Inhalationen mit gleichzeitiger Atemsubstitution die Ausatemphase von längerer Dauer war als bei den Inhalationen ohne Atemsubstitution. Diese Beobachtung steht, wie später noch zu besprechen sein wird, in Beziehung zur Versuchsdauer und zum Verbrauch von Zusatzluft.

Die Atemfrequenz (Sp.6) gibt die tatsächlich erfolgten Atz./Min., nicht eine Skaleneinteilung wieder. Beim Vergleich mit den Versuchen im ersten Teil der Arbeit zeigt sich eine Verminderung der AF bei Normalatmung mit Inhalation gegenüber der Normalatmung ohne Inhalation. Dies dürfte auf die unten näher begründete Verlangsamung der Atmung bei der Inhalation zurückzuführen sein. Die AF bei Atemsubstitution mit Inhalation zeigt keine bemerkenswerte Abweichung von den Werten ohne Inhalation.

Die Versuchsdauer ist bei Inhalation mit Atemsubstitution durchschnittlich um zwei Minuten verlängert. Eine Erklärung ist in einer im Selbstversuch gemachten Beobachtung zu suchen: Man bekommt bei der Inhalation nach wenigen Atemzügen ein Gefühl für die Dichte des eingeatmeten Nebels. Da man bei einer Inhalation psychisch auf ein gewisses Minimum der Nebeldichte eingestellt ist, wird unwillkürlich die Geschwindigkeit der Einatmung so eingerichtet, daß man möglichst konstant eine bestimmte Aerosoldichte einatmet. Da bei den Inhalationssystemen ohne Atembeutel — zu denen auch der Pari-Vernebler zählt — während der Einatmung praktisch eine konstante Nebelmenge zur Verfügung steht, die sich aus Gründen einer wirtschaftlichen Aerosoltherapie

nicht mit dem zeitlichen Verlauf der Atmung deckt, kommt es zu einer Verlangsamung der Atemgeschwindigkeit (s. Abb. 7).

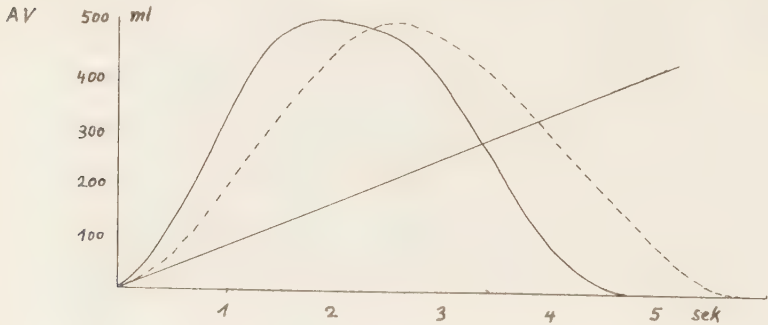


Abb. 7: Gelieferte Nebelmenge bei einer Leistung von 5 l/Min. im Vergleich mit dem Verlauf eines Atemzuges mit einem AV von 500 ccm und einem AZQ von 1,4 bei einer AF von 13 Atz./Min. (die gestrichelte Linie stellt die Anpassung des Verlaufs des Atemzuges an die gelieferte Nebelmenge dar).

Dies führt einmal zu der oben angeführten Verminderung der AF, zum andern ist durch die Verschiebung des AZQ zugunsten der Einatmung das Verneblerventil bei der Inhalation ohne Atemsubstitution relativ länger geöffnet als bei der mit Atemsubstitution. Dadurch kommt es zu einer schnelleren Beendigung des Versuchs. Bei der Beurteilung der Resorptionsgröße kann dies insofern unberücksichtigt bleiben, als sich keinerlei Einfluß auf die vernebelte PAH-Menge nachweisen läßt. Es ist lediglich zu vermerken, daß die unten beschriebenen Resorptionssteigerungen bei der Inhalation mit Atemsubstitution deutlicher zum Ausdruck kommen würden bei Verwendung eines durch eine größere Minutenleistung gekennzeichneten Verneblers. In diesem Sinne ist auch der in der Reihenfolge der Inhalation mit Normalatmung, Elektrolungen-, Biomotor- und manueller Beatmung steigende Verbrauch an Zusatzluft zu beurteilen,

da die Möglichkeit einer Anpassung der Einatemungsgeschwindigkeit an die gelieferte Nebelmenge in eben dieser Reihenfolge abnimmt (s.Tab.12).

Die vernebelte PAH-Menge beträgt im Durchschnitt ca 25 % der eingefüllten Menge. Die teilweise stärkeren Abweichungen (s.Tab.12, manuelle Beatmung) sind auf die Art der Festlegung des Versuchsendes zurückzuführen. Eine Abhängigkeit der PAH-Ausscheidung von der vernebelten Menge PAH konnte in einem Streudiagramm für die absoluten PAH-Werte innerhalb der für die Auswertbarkeit der Versuche aufgestellten Grenzen nicht gefunden werden.

Die PAH-Ausscheidung ist bei allen drei Versuchsreihen der Inhalation mit Atemsubstitution gegenüber der Inhalation ohne Atemsubstitution erhöht. Sie ist im Durchschnitt bei der manuellen Beatmung um 8,6 %, bei der Biomotorbeatmung um 6,7 % und bei der Elektrolungenbeatmung um 4,0 % größer als bei Inhalation ohne Förderung der Atmung. Die PAH-Ausscheidung ist somit bei Inhalation mit manueller Beatmung und mit Biomotorbeatmung größer als bei Elektrolungenbeatmung. Die Ursache dieser Resorptionssteigerung ist allein in der durch die verschiedenen Arten der Atemsubstitution erzielten Vergrößerung des Atemeffekts zu suchen. Ein Vergleich der Mittelwerte für das AMV und das AV der Tabelle 5 mit den Werten für die prozentuale PAH-Ausscheidung der Tabelle 12 verdeutlicht dies.

Es zeigt sich, daß die Erhöhung der PAH-Ausscheidung und die des Atemvolumens gleichsinnig verläuft.

Bemerkenswert ist die Diskrepanz zwischen der Erhöhung des AMV und der Erhöhung der PAH-Ausscheidung bei der Biomotorbeatmung. Bei Beachtung der Atemfrequenz weist diese Erscheinung auf die von Stieve-Dirnagl (34) und Pichelmaier (27) beschriebene Beobachtung hin, daß nämlich mit einer Erhöhung der Af eine Verminderung der Resorptionsgröße einhergeht. Diese Verminderung der Re-

sorptionsgröße beruht auf zwei Faktoren: Einmal hat bei Normalatmung eine Beschleunigung der Atmung gewöhnlich eine Abflachung der Atemtiefe zur Folge. Das hierdurch bedingte geringere Eindringungsvermögen des Aerosols führt zu einer Verminderung der Resorption. Zum andern ist eine Verminderung der Niederschlagsgröße infolge einer höheren Atemfrequenz bei gleichbleibendem Atemvolumen durch die pro Atz. kürzere Verweildauer des Aerosols in der Lunge bedingt. Diese beiden Komponenten summieren sich bei Inhalation ohne Atemsubstitution. Zieht man nun in Betracht, daß bei der Biomotorbeatmung bei einem AV von 1299 ccm und einer AF von 10 Atz./Min. die durchschnittliche PAH-Ausscheidung ca 32 % der vernebelten Menge, bei der manuellen Beatmung mit einem AV von 1500 ccm und einer AF von 6 Atz./Min. ca 34 % beträgt, so ergibt sich pro Atemzug eine wesentlich geringere Resorption von PAH für die Biomotorbeatmung (s.Tab. 5 und 12 und Abb. 8). Somit zeigen auch die Ergebnisse bei Inhalation mit Atemsubstitution die von Stieve-Dirnagl-Pichelmaier aufgestellten Beziehungen zwischen Atemfrequenz, Atemtiefe und Resorptionsgröße.

Zusammenfassend kann man sagen: Es ist eine Vergrößerung der Resorption von Aerosol bei allen drei Formen der Atemsubstitution festzustellen. Die größte Resorptionssteigerung bringt die manuelle Beatmung. Die Erhöhung der PAH-Ausscheidung geht derjenigen des Atemvolumens parallel.

Da die Ergebnisse von Versuchen an Atemgesunden stammen, ist zu erwarten, daß bei Atemkranken eine weit größere Resorptionssteigerung zu erreichen ist.

Für Inhalationen mit Atemsubstitution ist ein Vernebler mit einer größeren Nebelleistung pro Minute zu empfehlen.

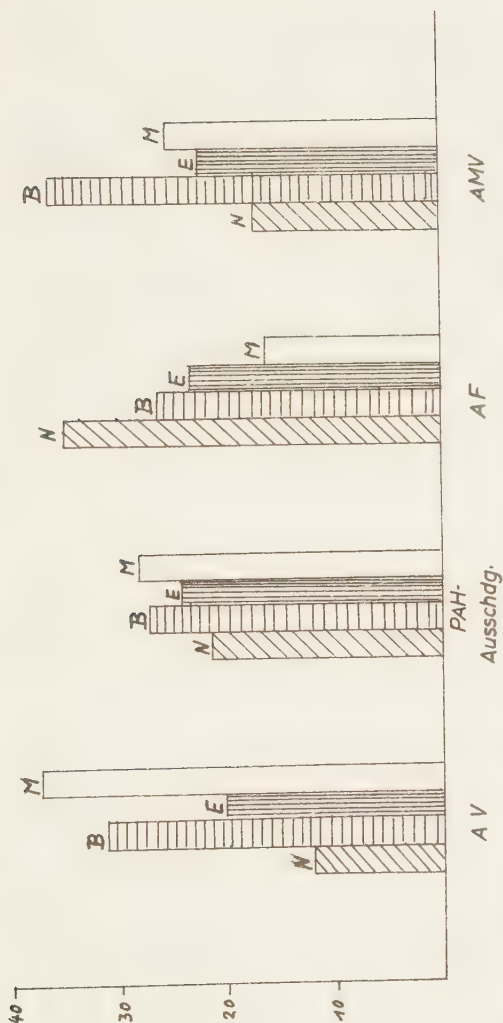


Abb. 8: Darstellung der relativen Veränderungen von Atemvolumen (AV), Atemfrequenz (AF), Atemminutenvolumen (AMV) und PAH-Ausscheidung bei den verschiedenen Formen der Atmung (N=Normalatmung, E=Elektrolinsenbeatmung, M=manuelle Beatmung).

Zusammenfassung:

1. Einleitend wird auf die zunehmende Beachtung der Atemtechnik bei der Aerosoltherapie in der Literatur eingegangen.
2. Es folgt eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Methoden künstlicher Beatmung mit einer Literatúrauswahl.
3. Die zur Substitution bzw. Förderung der Atmung bei der Inhalationstherapie geeignet erscheinenden Methoden (Biomotor, Elektrolunge, Phrenoton und manuelle Beatmung) werden beschrieben.
4. Die Phrenotonbeatmung mußte nach den Vorversuchen wegen technischer Schwierigkeiten ausgeschieden werden. Für Biomotor-, Elektrolungen- und manuelle Beatmung werden durch Untersuchungen am Spirographen nach Knipping Vergleiche mit der Normalatmung angestellt. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet. Verglichen werden Atemvolumen, Atemfrequenz, Atemminutenvolumen und Atemzeitquotient.

Es ergibt sich:

- a Die Ventilationsgrößen werden durch alle drei Formen der Atemsubstitution vergrößert. Die größte Entfaltung der Lungen bei gleichzeitig geringster Atemfrequenz bewirkt die manuelle Beatmung.
 - b Die größte Atemminutenvolumenerhöhung bringt die Biomotorbeatmung.
 - c Die Atemfrequenz nimmt in der Reihenfolge Normalatmung, Biomotor-, Elektrolungen-, manuelle Beatmung ab.
 - d Die manuelle Beatmung bewirkt gegenüber den anderen Beatmungsformen eine geringe Verlängerung der Ausatmungsphase.
5. An 68 atemgesunden Versuchspersonen wird die Wirkung der Methoden zur Substitution der Atmung auf

die Resorption von Aerosol mittels PAH-Inhalationen untersucht. Die Anwendung der Atemsubstitution erfolgte während der Inhalation. Die Ergebnisse werden tabellarisch und graphisch wiedergegeben.

Es zeigt sich:

- a Bei allen drei Formen der Atemsubstitution eine Erhöhung der PAH-Ausscheidung gegenüber den Inhalationen bei Normalatmung. Die Resorptionsvergrößerung nimmt in der Reihenfolge Elektrolungen-, Biomotor-, manuelle Beatmung zu.
- b Die Erhöhung der PAH-Ausscheidung verläuft parallel den bei den Untersuchungen am Spirographen gefundenen Veränderungen des Atemvolumens.

Herrn Privatdozenten Dr. med. F. E. Stieve danke ich für die Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates.

Besonderen Dank Herrn Privatdozenten Dr. F. E. Stieve auch für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Herrn Oberarzt Dr. med. U. Schneider danke ich für die Beratung bei der Durchführung der manuellen Beatmung.

Herrn Diplomphysiker K. Dirnagl sei für die Unterstützung in versuchstechnischen Fragen gedankt.

Der Krankengymnastikschule danke ich für die Mitwirkung bei den Versuchen und für die Übernahme der Durchführung der manuellen Beatmung.

L i t e r a t u r

1. Abendroth, H.: Behandlung des Lungenemphysems und des Asthma bronchiale mit der Elektrolunge.
Ärztl. Wschr. 6 : 35 1951
2. Arno, G.: Erfahrungen über postoperative Beatmung mit der Elektrolunge.
Brun's Beiträge z.klin.Chirurgie Bd.187, H 2 1953
3. Bernert, T., Seyss, R. und Witt, E.: Messungen mit Radiojod in der Aerosoltherapie.
Med. Klin. 51/51 : 1362
4. Bolt, W., Valentin, H.: Über spiographische Untersuchungen bei der Poliomyelitisepidemie 1948.
Klin. Wschr. 28 : 113
5. Bolt, W., Valentin, H. und Venrath, H.: Eiserne Lunge oder Elektrolunge in der Klinik der Atemlähmungen.
Die Medizinische 1953 : 5
6. Bolt, W., Valentin, H. und Venrath, H.: Funktionsstudien bei künstlicher Beatmung hypopnoischer Kranker.
Ärztl. Wschr. 5 : 1
7. Bolt, W., Valentin, H. und Venrath, H.: Über die Hilfsmittel zur künstlichen Beatmung hyponoischer Kranker.
Ärztl. Wschr. 6 : 452
8. Bryson, V., Sansome, E. und Laskin, S.: Aerolization of penicillin-solutions.
Science 100 : 33
9. Buhlmann: Elektrische Beatmungsgeräte.
Dtsche Med. Wschr. 79 : 993
10. Dijourno, A.: La respiration électrophrenique.
Presse méd. 60/72 : 1532
11. Dönhardt, A.: Die apparative Dauerbeatmung.
Springer Verlag 1955

12. Findeisen, W.: Über das Absetzen kleiner, in der Luft suspendierter Teilchen in der menschlichen Lunge bei der Atmung.
Arch. ges. Physiol. 236 : 367
13. Gordon, A., Sardorç, A., Raymond, F. und Ivy, A.:
J. Amer. Med. Ass. 147 : 1444
14. Hellich:
Münch. Med. Wschr. 1935 : 421
15. Hofmann, W.: Gerätebeschreibung und Bedienungsanleitung für die Elektrolunge.
16. Hückel, E. und Kipper: Über die Niederschlagsgröße von Inhalationsnebeln in den Luftwegen.
Z. Physik. Therapie 30 : 190
17. Jantsch, H. und Nüchel, H.: Welche Anforderungen sind an ein modernes Reizstromgerät zu stellen?
Wiener Med. Wschr. 101, 19 : 351
18. Kilian, H. und Dönhardt, A.: Wiederbelebung.
Thieme Verlag 1955
19. Kilian, H. und Weese: Narkose.
Thieme Verlag 1954
20. Kirchner, K.: Grundsätzliche Fragen zur elektrischen Beatmung.
Therapeut. Umschau 10 : 9
21. Klotz, L. und Sauerwein: Die Behandlung pulmonaler Erkrankungen mit der Elektrolunge.
Med. Klin. 47/13 : 417
22. Koeppen, S.: Anwendung des Biomotors in Klinik und Unfallpraxis.
Med. Klin. 46 : 1369
- 23 Kowarschik, J.: Eine neue Methode der künstlichen Atmung.
Wiener Med. Wschr. 100, 21/22 : 368
24. Krentz, K. und Petermann, A.: Atemgymnastik und Elektrolungenbehandlung in der Therapie chron.
Ärztl. Wschr. 1952 : 1029 - 1034

25. Lammers und Heidfeld: Über die Resorption von inhaliertem Penicillin-Aerosol.
Dtsch. Med. Rdsch. 43 : 1201
26. Neubig, R.: Zur Methodik der Bestimmung der Niederschlagsgröße von Aerosolen im Respirationstrakt des Menschen.
Med. Diss. München 1952
27. Pichelmaier, H.: Über den Einfluß der Atemtechnik und anderer Nebenbedingungen auf die Resorption von Aerosolen in den gesunden und kranken Atemwegen.
Med. Diss. München 1953
28. Sarnoff, S. J. und Chatfield, P. O.: Role of pulmonary proprioceptive reflexes in the suppression of the spontaneous breathing during electrophrenic respiration.
Am. J. Physiol. 163 : 118
29. Sarnoff, S. J., Gaensler, E. A. und Maloney, J. V.: Electrophrenic respiration.
J. Thorac. surg. 19 : 929
30. Sarnoff, S. J., Maloney, J. V. jr., Sarnoff, L. C., Ferris, B. G. jr. und Wittenberg, J. L.: Electrophrenic respiration in acute Bulbarpoliomyelitis.
J. Amer. Med. Ass. 143 : 1383
31. Sarnoff, S. J., Hardenberg, E. und Wittenberg, J.: Electrophrenic respiration: Mechanism of inhibition of spontaneous respiration.
Am. J. Physiol. 155 : 203
32. Smith, Finkelstein, Aliminosa, Crawford und Graber: The renal clearance of substituted hippuric acid derivatives and other aromatic acids in dog and man.
J. Clin. Invest. 24 : 388
33. Stieve, F. E. und Dirnagl, K.: Zur Frage der Tröpfchengröße und Eindringungstiefe von Aerosolen.
Die Medizinische 13 : 434

34. Stieve, F. E., Dirnagl, K. und Neubig, R.: Theoretische Überlegungen und neue experimentelle Methoden zur Verfolgung von Mechanismus, Bilanz und zeitlichem Verlauf der Resorption inhalierter Substanzen in Lunge und Tracheobronchialbaum.
Zschr. Aerosol-Forsch. 2,3 : 378-393 1953
35. Welker, H.: Über den Einfluß der Tröpfchengröße und anderer Nebenbedingungen auf die Resorption von Aerosolen.
Med. Diss. 1953
36. Wittenberg, J. L., Sarnoff, S. J. und Hardenberg, E.: Electrophrenic respiration: Its use in Man.
J. Clin. Invest. 28 : 124
37. Zettler, F.: Experimentelle Ergebnisse bei der künstlichen Beatmung mittels neuer Reizgeräte.
Der Anaesthesist, Springer Verlag 1952 1 : 3

Lebenslauf

Am 18. 2. 1931 wurde ich, Alois Kotter, als Sohn des Bäckermeisters Alois Kotter und seiner Ehefrau Maria, geb. Nagler in Donauwörth geboren.

Von 1937 bis 1941 besuchte ich die Volksschule in Donauwörth, vom Herbst 1941 bis Februar 1945 die Oberschule in Donauwörth, vom Januar 1946 an die Oberschule in Dillingen/Donau. Hier legte ich im Juni 1950 die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1950/51 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität München und machte hier im Frühjahr 1956 das Staatsexamen für Medizin. Seither bin ich als Medizinalpraktikant tätig.

